



**SKRIPSI – ME 141501**

**ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA  
MENGUNAKAN GAS NITROGEN DI KAPAL DENGAN  
MEMODIFIKASI RUANG PALKAH**

**SEPTI HANDAYANI  
NRP 4213 100 035**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**





---

**SKRIPSI – ME 141501**

**ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA  
MENGUNAKAN GAS NITROGEN DI KAPAL DENGAN  
MEMODIFIKASI RUANG PALKAH**

**SEPTI HANDAYANI  
NRP 4213 100 035**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



---

**FINAL PROJECT – ME 141501**

**DESIGN ANALYSIS OF COAL DRYING SYSTEM BY USING NITROGEN  
GAS ON SHIP WITH MODIFYING PALKAH ROOM**

**SEPTI HANDAYANI  
NRP 4213 100 035**

**Supervisor:  
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN****ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN  
BATUBARA MENGGUNAKAN GAS NITROGEN DI  
KAPAL DENGAN MEMODIFIKASI RUANG  
PALKAH****TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Bidang Studi *Fluid Machinery dan System (MMS)*  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SEPTI HANDAYANI**

NRP 4213 100 035

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.



SURABAYA  
JANUARI, 2017

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA MENGGUNAKAN GAS NITROGEN DI KAPAL DENGAN MEMODIFIKASI RUANG PALKAH

### TUGAS AKHIR

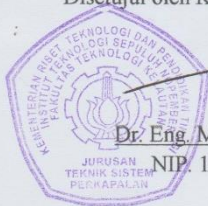
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Bidang Studi *Fluid Machinery dan System (MMS)*  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SEPTI HANDAYANI**

NRP 4213 100 035

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA  
JANUARI, 2017

## **ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA MENGGUNAKAN GAS NITROGEN DI KAPAL DENGAN MEMODIFIKASI RUANG PALKAH**

Nama Mahasiswa : Septi Handayani  
NRP : 4213 100 035  
Dosen Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc..

### **ABSTRAK**

Batubara Indonesia pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah salah satunya jenis lignit, sebanyak 60-70% dari total cadangan batubara. Batubara jenis lignit memiliki kandungan air total (*moisture content*) 25%-45. Oleh karena itu perlunya inovasi untuk menangani permasalahan tersebut. Salah satu inovasi untuk meningkatkan nilai kalor batubara yaitu dengan melakukan proses pengeringan batubara dengan Generator Nitrogen di ruang palkah kapal. Gas Nitrogen yang berasal dari Generator tersebut akan dialirkan kepada setiap ruang palkah kapal dengan temperatur pengeringan 55°C. Karena hasil pengeringan yang tidak merata maka terbentuk pemikiran untuk memodifikasi ruang palkah kapal. Dengan menganalisa dua bentuk permodelan yakni menambahkan pipa berlubang ditengah dan penambahan *double side* pada ruang palkah, dihasilkan pengeringan yang lebih merata dengan waktu pengeringan lebih singkat yakni 4-5 jam tiap ruang palkah dengan menggunakan metode pengeringan yang digunakan yakni *constant rate-drying*. Setelah proses pengeringan menggunakan Gas Nitrogen maka kandungan uap air yang terambil yaitu >14% dari nilai kandungan uap air awal sebesar 45%.

Kata kunci : Batubara, Palkah Kapal, Modifikasi, Pengeringan, Gas Nitrogen

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **DESIGN ANALYSIS OF COAL DRYING SYSTEM BY USING NITROGEN GAS ON SHIP WITH MODIFYING PALKAH ROOM**

*Student Name* : Septi Handayani  
*NRP* : 4213 100 035  
*Advisor* : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc..

### ***ABSTRACT***

Indonesian coal is generally dominated by low rank coals one type of lignite, as many as 60-70% of the total coal reserves. Coals, lignite has a total water content (moisture content) of 25% -45. Hence the need for innovation to solve the problem. One of the innovations to increase the calorific value of coal is the coal drying process with Nitrogen Generator in palkah space ship. Nitrogen gas coming from the generator will be supplied to every space palkah ship with drying temperature 55 ° C. Due to uneven drying results then formed idea to modify palkah space ship. By analyzing the two forms of modeling which adds perforated pipe in the middle and the addition of double side on palkah space, resulting drying evenly with shorter drying time ie 4-5 hours each room palkah using the drying method used the constant rate-drying. After the drying process using Nitrogen gas is then drawn moisture content is > 14% of the value of the initial moisture content of 45%.

*Keywords* : Coal, Palkah Room, Moodification, Drying, Nitrogen Gas

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan anugerah dan ilmu-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISA DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA MENGGUNAKAN GAS NITROGEN DI KAPAL DENGAN MEMODIFIKASI RUANG PALKAH**” ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

Terselesaikannya Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari bantuan dan dukungan semua pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua penulis serta keluarga lainnya yang selalu memberikan dukungan, perhatian secara jasmani dan rohani disaat penulis menghadapi kesulitan disaat mengerjakan Tugas Akhir. Kasih sayang yang tiada batas kepada penulis, serta doa yang tulus ikhlas yang selalu dipanjatkan untuk kesuksesan penulis.
3. Bapak Ir. Alam Bahramsyah, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak membantu penulis dalam mengembangkan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena telah menjadi “bapak” yang banyak memberikan *life advice* kepada penulis. Salah satunya adalah “*Semua yang ada di dunia yang tidak tertulis di dalam kitab suci hukumnya adalah sangat mudah untuk dilakukan dan pasti ada solusinya.*”. Ilmu dan pengalaman yang telah Bapak berikan akan selalu penulis ingat dan mudah-mudahan suatu saat nanti penulis bisa membalas meskipun tidak akan sebanding dengan apa yang telah Bapak berikan.

4. Teman - teman angkatan 2011, 2012, 2013, terima kasih atas semua dukungan dan kerja sama yang sudah kita lakukan selama ini. Semoga kedepannya kita dapat mempererat tali persaudaraan yang telah terjalin ini.
5. Teman – teman seperjuangan Wisuda 115 MMS. Terimakasih atas waktu dan kebersamaan yang telah diluangkan, semoga wisuda ini bukan akhir dari perjuangan bersama, tetapi sebagai awal untuk menggapai cita – cita masing – masing.
6. Juga tidak lupa kepada semua pihak yang belum disebutkan satu per satu disini yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan memiliki banyak kekurangan. Sehingga dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca.

Surabaya, Januari 2017

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak .....	iii
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	4
I.3 Batasan Masalah .....	4
I.4 Tujuan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
II.1 Batubara di Indonesia .....	5
II.2 Karakteristik Batubara .....	6
II.2.1 Klasifikasi Batubara.....	6
II.2.2 Wujud Air dalam Batubara.....	9
II.3 Pengeringan Batubara.....	10
II.3.1 Konsep Dasar Pengeringan.....	10
II.3.2 Mekanisme Pengeringan.....	11
II.3.3 Periode Laju Pengeringan.....	12

II.3.3.1 Laju Pengeringan Konstan.....	12
II.3.3.2 Laju Pengeringan Menurun .....	13
II.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan.....	13
II.4 Resiko Pengeringan Batubara.....	15
II.4.1 Pembakaran Spontan .....	15
II.4.2 Resiko Ledakan Debu Batubara .....	16
II.5 LHV dan HHV Batubara .....	20
II.6 Prinsip Kerja Generator .....	21
II.6.1 Cara Kerja Membran Generator Nitrogen .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
III.1 Flowchart.....	26
III.2 Deskripsi.....	27
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
IV.1 Data Kapal.....	30
IV.2 Volume Ruang Palkah.....	30
IV.3 Perhitungan Massa Batubara pada Ruang Palkah .....	31
IV.4 Perhitungan Humidity dan Relative Humidity .....	32
IV.5 Perhitungan Nilai kalor Laten Batubara.....	35
IV.6 Perhitungan Koefisien Transfer Pengeringan Batubara .....	36
IV.7 Perhitungan Moisture Content Setelah Pengeringan.....	52
IV.8 Perhitungan Waktu Periode yang Dibutuhkan untuk Proses Pengeringan.....	55
IV.9 Perhitungan Nilai Panas (Heating Value) untuk Proses Pengeringan Batubara.....	57
IV.10 Perhitungan Diameter Pipa Sistem Aliran Gas Nitrogen ..	60

IV.11 Perhitungan Pressure Drop Sistem Distribusi Gas Nitrogen  
61

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>64</b>
V.1 Kesimpulan.....	64
V.2 Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>67</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1 Komposisi Elemen dari Berbagai Tipe Batubara .....	9
Tabel 2.1 Spesifikasi Generator .....	21

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Produksi, Ekspor, dan Penjualan Dalam Negeri Batubara Indonesia (2009-2014) .....	1
Gambar 1.2 Grafik Data Sebaran Cadangan Batubara di Indonesia Tahun 2013.....	2
Gambar 2.1 Batubara Lignit.....	7
Gambar 2.2 Batubara Sub-Bituminous .....	7
Gambar 2.3 Batubara Bituminous .....	8
Gambar 2.4 Batubara Anthracite .....	8
Gambar 2.5 Generator Nitrogen .....	23
Gambar 2.6 Aliran Gas di dalam Separator .....	24
Gambar 4.1 Main Deck MV. KARTIKA JAYA COAL .....	30
Gambar 4.2 Permodelan 1 Sistem Aliran Gas Nitrogen .....	36
Gambar 4.3 Permodelan 2 Sistem Aliran Gas Nitrogen.....	44

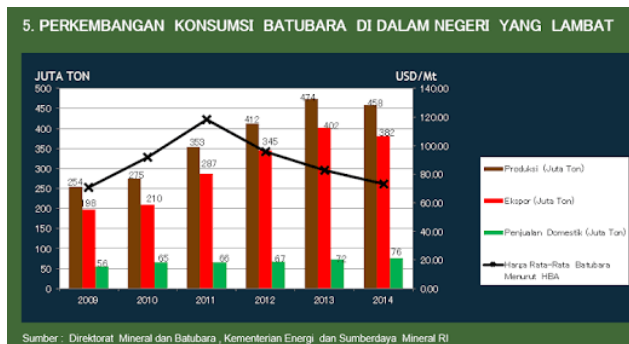
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

pembangunan ekonomi global, mengurangi kemiskinan dan memenuhi kebutuhan energi dunia. Hal tersebut dikarenakan cadangan terbukti (proven reserve) batubara dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan energi dunia sampai 119 tahun sementara itu cadangan terbukti minyak dan gas hanya akan berumur sampai 46 dan 63 tahun dan saat ini memasok 27% dari kebutuhan energi primer dunia dan 41% energi listrik dunia.

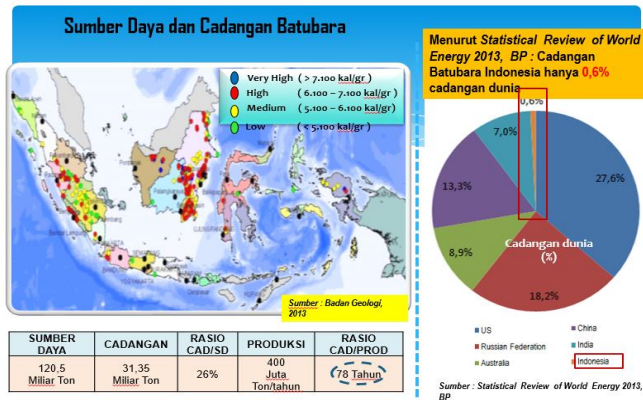
Akan tetapi batubara yang dihasilkan oleh tambang di Indonesia memiliki nilai moisture yang sangat tinggi sehingga digolongkan sebagai low rank coal. Produksi batubara dengan kadar air yang rendah (high rank coal) kebanyakan diekspor untuk memenuhi pasar luar negeri



Gambar 1.1 Grafik Data Produksi, Ekspor, dan Penjualan Dalam Negeri Batubara Indonesia (2009-2014)

*Sumber : Direktorat Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI*

Terlihat pada grafik diatas, pada tahun 2014, jumlah ekspor batubara mengalami penurunan yaitu sebanyak 382 juta ton. Data tersebut diambil dari Direktorat Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI



Gambar 1.2 Grafik Data Sebaran Cadangan Batubara di Indonesia Tahun 2013

*Sumber : Direktorat Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI*

Pada Gambar 1.2, menunjukkan meski Indonesia memiliki cadangan batubara 0.6 % cadangan dunia akan tetapi Indonesia memiliki cadangan batubara yang melimpah terutama di Pulau Sumatra dan Kalimantan. Meski melimpah tetapi batubara yang dapat ditambang yang pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah (lignit) yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara. Batubara jenis ini mempunyai kandungan air (moisture content) yang cukup tinggi yaitu sekitar 15 – 35% dan nilai kalor yang rendah yaitu kurang dari 5000 kcal/kg

Beberapa negara yang biasanya melakukan impor batubara dari Indonesia, seperti China, India, Jepang dan Korea. Untuk pengiriman batubara ini lewat jalur laut. Hal tersebut dikarenakan

permintaan setiap tahun semakin meningkat, maka pemerintah menambah kuota untuk pengiriman batubara ke negara tersebut dengan cara memperbesar kapal maupun mempercepat pengiriman dari batubara tersebut. Transportasi yang nantinya akan digunakan saat melakukan ekspor yaitu kapal. Kapal yang mengangkut batubara biasanya kapal Bulk Carrier atau Coal Carrier.

Tipe batubara yang biasanya diangkut oleh Coal Carrier yaitu Batubara lignit yang berukuran  $\pm 50$  mm. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis lignit ini merupakan batubara tingkat rendah. Untuk meningkatkan kualitas dari batubara ialah dengan meningkatkan nilai kalor dari batubara tersebut. Berbagai macam metode dapat digunakan untuk meningkatkan nilai kalor batubara.

(Genta Arias, 2013), ada beberapa cara penanggulangan ledakan pada batubara dan salah satunya adalah penggunaan Gas Inert. Oleh karena itu diciptakan teknologi sistem pengeringan menggunakan gas nitrogen. Teknologi peningkatan kualitas yang dimaksud ditujukan untuk menaikkan heating value dari batubara dengan cara menghilangkan kadar air yang terkandung dalam batubara. Metode pemanasan tanpa oksigen merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara.

Dari kajian yang telah dilakukan, untuk proses pengeringan batubara dengan media transportasi kapal berjenis Bulk Carrier dengan menggunakan gas nitrogen masih minim dan masih terkendala dalam hal pemerataan gas nitrogen itu sendiri agar proses pengeringan lebih sempurna.

Oleh karena alasan tersebut penulis mengangkat Judul Tugas Akhir “Analisa Desain Sistem Pengeringan Batubara Menggunakan Gas Nitrogen Di Kapal Dengan Memodifikasi Ruang Palkah Kapal.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Adapun masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana sistem aliran (keyplan) distribusi gas Nitrogen yang akan diinjeksikan pada ruang palkah ?
- b. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan batubara dengan system yang dirancang?
- c. Bagaimana Nilai Panas (Heating Value) dari batubara sebelum dan sesudah dilakukan pengeringan?
- d. Bagaimana karakteristik kimiawi yang terkandung batubara setelah proses pengeringan?

## **I.3. Batasan Masalah**

Dengan batasan masalah sebagai berikut :

- a. Dinding ruang palkah dalam kondisi kedap udara.
- b. Analisa hanya difokuskan pada sistem distribusi gas nitrogen yang akan diinjeksikan dalam ruang palkah.
- c. Metode perhitungan menggunakan Periode *Constant Rate Drying*.
- d. Tidak menganalisa segi ekonomis.
- e. Tidak menganalisa lokasi pelabuhan angkut dan tiba

## **I.4. Tujuan**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Mengetahui sistem aliran (keyplan) distribusi gas Nitrogen yang akan diinjeksikan pada ruang palkah ?
- b. Mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan batubara dengan system yang dirancang?
- c. Mengetahui Nilai Panas (Heating Value) dari batubara sebelum dan sesudah dilakukan pengeringan?
- d. Mengetahui karakteristik kimiawi yang terkandung batubara setelah proses pengeringan?

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Batubara di Indonesia**

Batubara merupakan sumber energi terbesar yang dimiliki oleh dunia khususnya indonesia saat ini sebagian besar negara berkembang menggunakan batubara sebagai sumber energi pembangkit tenaga listriknya. Dan diperkirakan batubara dapat digunakan 100 tahun kedepan, penggunaannya pun dapat dalam bentuk briket, cair, gas, maupun dalam kondisi utuh.

Batubara menjadi harta yang sangat berharga bagi indonesia yang memiliki cadangan terbukti sebesar 57 milyar ton jika ini dimanfaatkan dengan baik dan dengan menggunakan teknologi yang efektif maka indonesia tidak akan mengalami krisis energy dan menjadi Negara ekspor energy nantinya. Eksplorasi dan eksploitasi batubara dilakukan secara besar-besaran saat ini oleh berbagai perusahaan hal ini dikarenakan banyaknya permintaan batubara khususnya untuk sector pembangkit tenaga listrik namun sebagian besar batubara hasil dalam negeri diekspor keluar negeri seperti jepang, china, india, Australia, dan Negara-negara di eropa. Seharusnya indonesia harus lebih mengutamakan kepentingan dalam negeri.

Keberadaan batubara di Indonesia memang melimpah namun 60 % dari total itu merupakan batubara kelas rendah atau mengandung kadar air yang tinggi berkisar >20% bahkan mencapai 80% serta nilai kalori yang rendah dengan berbagai karakteristik yang tidak menguntungkan jika dimanfaatkan seperti mudah terjadi swabakar, kadar abu yang tinggi, serta banyak mengandung mineral pengotor.

Keberadaan batubara peringkat rendah yang melimpah merupakan potensi bagi Indonesia hanya saja batubara tersebut harus dilakukan *up-grading* atau peningkatan kualitas, salah satu teknologi peningkatan kualitas batubara adalah teknologi yang mengurangi kadar air yang terdapat pada batubara. Pengurangan



kadar air ini dapat dilakukan dengan pengeringan atau *drying* yang disebut dengan teknologi pengeringan batubara.

## **II.2. Karakteristik Batubara**

Air dalam batubara atau kelembaban batubara mempengaruhi karakteristik fisik dan kimia batubara dan pemilihan teknologi pemanfaatannya. Reaksi pembakaran batubara, reaksi gasifikasi, reaksi pengeringan, reaksi pirolisis, evolusi zat terbang, degradasi ukuran batubara, keekonomian transportasi dan titik nyala batubara dipengaruhi oleh kandungan air yang ada dalam batubara. Pada reaksi pembakaran, air dalam batubara menghambat laju pemanasan batubara dan menghalangi kontak batubara dengan oksigen. Kandungan air batubara juga mengurangi jumlah energi panas yang dapat dimanfaatkan karena sebagian energi panas dipakai untuk menguapkan air batubara yang endotermik.

Karakteristik pengeringan batubara perlu diketahui sebelum dilakukan desain reaktor pengeringan. Jumlah dan wujud air dalam batubara, suhu pengeringan dan penyerapan kembali oleh batubara mempengaruhi jumlah kandungan air dalam batubara kering yang dihasilkan. Batubara kering dengan ukuran halus sangat rentan pada terjadinya spontaneous combustion dan ledakan debu batubara (coal dust explosion), oleh sebab itu perlu kehati-hatian dalam menangani batubara kering halus produk pengeringan/upgrading batubara.

### **II.2.1 Klasifikasi Batubara**

Pengklasifikasian batubara di dasarkan pada derajat dan kualitas dari batubara tersebut, yaitu :

#### **1. Lignite / Brown Coal**

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah. Lignit atau batu bara coklat ini

adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.



Gambar 2.1 Batubara Jenis Lignit

2. Sub-Bituminous / Bitumen Menengah

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi. Sub-bituminus mengandung sedikit Karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.



Gambar 2.2 Batubara Jenis Sub-Bituminous

3. Bituminous

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatik. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini

dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri. Bituminous mengandung 68 - 86% unsur Karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Indonesia, tersebar di pulau sumatera, kalimantan dan sulawesi.



Gambar 2.3 Batubara Jenis Bituminous

4. Anthracite

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilap tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur Karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.



Gambar 2.4 Batubara Jenis Anthracite

Berikut ini tabel komposisi elemen dari berbagai tipe batubara dimana kualitas batubara Indonesia pada umumnya memang didominasi oleh batubara peringkat rendah (lignit) yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara.

Tabel 1.1 Komposisi Elemen dari Berbagai Tipe Batubara

**TABLE 3.1 Composition and Property Ranges for Various Ranks of Coal**

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3–6	2–15	10–25	25–45
Volatile matter (%)	2–12	15–45	28–45	24–32
Fixed carbon (%)	75–85	50–70	30–57	25–30
Ash (%)	4–15	4–15	3–10	3–15
Sulfur (%)	0.5–2.5	0.5–6	0.3–1.5	0.3–2.5
Hydrogen (%)	1.5–3.5	4.5–6	5.5–6.5	6–7.5
Carbon (%)	75–85	65–80	55–70	35–45
Nitrogen (%)	0.5–1	0.5–2.5	0.8–1.5	0.6–1.0
Oxygen (%)	5.5–9	4.5–10	15–30	38–48
Btu/lb	12,000–13,500	12,000–14,500	7500–10,000	6000–7500
Density (g/mL)	1.35–1.70	1.28–1.35	1.35–1.40	1.40–1.45

## II.2.2 Wujud Air dalam Batubara

Air dalam batubara sebagian terikat di permukaan batubara, dalam pori-pori batubara (pori mikro dan pori makro) dan sisanya terikat oleh gugus fungsi hidroksil dan karboksil. Setelah proses pengeringan batubara, air dapat kembali ke dalam batubara bila pori-pori batubara tidak rusak atau tidak terjadi pemutusan ikatan air dengan gugus fungsi yang ada.

Umumnya air di dalam batubara di klasifikasikan ke dalam dua jenis yaitu air bebas (free moisture) dan air terikat (bound water/inherent moisture). Free moisture berada pada permukaan batubara, didalam celah-celah batubara dan didalam pori-pori yang besar. Free moisture mempunyai sifat seperti air pada umumnya yaitu dalam kondisi normal akan menguap ke atmosfer. Inherent moisture adalah air yang terdapat dalam pori-pori batubara yang berukuran lebih kecil dan mempunyai tekanan uap lebih rendah sehingga dalam kondisi normal tidak menguap ke atmosfer.

Status air dalam batubara dapat diketahui dengan mengamati panas desorpsinya. Sekitar 80% air dalam batubara adalah dalam bentuk bebas dan panas yang dibutuhkan untuk desorpsi adalah sama dengan panas latent penguapan. Dua puluh persen (20%) sisanya adalah air yang terikat lebih kuat dalam lignit. Air ini biasanya terdapat dalam pori-pori batubara ukuran kecil (micropores). Dalam proses pengeringan batubara, variasi kekuatan ikatan air dalam batubara akan menghasilkan perilaku penguapan yang berbeda.

Volume pori dalam batubara bituminous hampir sama dengan volume pori dalam lignit yaitu sekitar 0,1 ml/gram. Walaupun demikian, ikatan air dalam lignit berbeda dengan ikatan air dalam batubara bituminous. Sebagian besar pori dalam lignit adalah pori-pori ukuran besar (macro pores) dan sebagian besar air, berada dalam macro pores tersebut. Air dalam pori-pori makro relatif mudah untuk dilepaskan dengan cara pemanasan sebaliknya air dalam pori-pori mikro agak sulit dilepaskan karena ikatan dengan permukaan batubara dan karena adanya gaya kapiler.

## **II.3. Pengeringan Batubara**

### **II.3.1 Konsep Dasar Pengeringan**

Pengeringan (drying) merupakan proses perpindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas (Thaib, dkk 1999).

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Proses perpindahan panas yang terjadi adalah dengan cara konveksi serta perpindahan panas secara konduksi dan radiasi tetap terjadi dalam jumlah yang relatif kecil. Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida dengan cairan harus ditransfer

melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas.

### **II.3.2 Mekanisme Pengeringan**

Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habi, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam bahan secara difusi. Migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan tekanan uap pada bagian dalam dan bagian luar bahan (Handerson dan Perry, 1976). Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya. Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya. Selama proses pengeringan terjadi penurunan suhu bola kering udara, disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, tekanan uap dan suhu pengembunan udara pengering.

### **II.3.3 Periode Laju Pengeringan**

#### **II.3.3.1 Laju Pengeringan Konstan (*Constant Rate Drying*)**

Menurut Henderson dan Perry, proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan laju pengeringan menurun. Pada periode

pengeringan dengan laju tetap, bahan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas. Laju penguapan sebagian besar tergantung pada keadaan sekeliling bahan, sedangkan pengaruh bahannya sendiri relatif kecil. Pada proses pengeringan ini, metode yang digunakan yaitu Constant-Rate Drying dengan rumus sebagai berikut :

$$Rc = h \lambda w (Tn - Tu)(3600)$$

Dimana :

- Rc : the rate of drying (kg H<sub>2</sub>O/h)
- h : heat transfer coefficient (W/m<sup>2</sup>•K)
- λw : kalor laten batubara (J/kg)
- Tn : temperatur gas nitrogen (K)
- Tu : temperatur udara (K)

Pada sistem pengeringan batubara ini dibutuhkan estimasi waktu pengeringan selama periode constant-rate drying dengan rumus sebagai berikut :

$$t = Ls A x Rc (X1 - X2)$$

Dimana :

- t : waktu pengeringan batubara (jam)
- Ls : massa batubara kering (kg)
- A : luasan ruang palkah kapal (m<sup>2</sup>)
- Rc : the rate of drying
- X1 : moisture content awal batubara

### **II.3.3.2 Laju Pengeringan Menurun (*Falling Rate Drying*)**

Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selama pengeringan. Jumlah air terikat makin lama semakin berkurang. Perubahan dari laju pengeringan tetap menjadi

laju pengeringan menurun untuk bahan yang berbeda akan terjadi pada kadar air yang berbeda pula. Pada periode laju pengeringan menurun permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Selama periode laju pengeringan menurun, energi panas yang diperoleh bahan digunakan untuk menguapkan sisa air bebas yang sedikit sekali jumlahnya. Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil daripada kadar air kritis. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu : perpindahan dari dalam ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya

### **II.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan**

Proses pengeringan suatu material padatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas, perbedaan temperatur antara padatan dengan fluida panas, kecepatan aliran fluida panas serta tekanan udara. Berikut ini dijelaskan tentang faktor-faktor tersebut :

#### **a. Luas Permukaan**

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar,
2. Partikel-partikel kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.



**b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya**

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "Case Hardening", yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

**c. Kecepatan Aliran Udara**

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfir jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

**d. Tekanan Udara**

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tetampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

## **II.4. Resiko Pengeringan Batubara**

### **II.4.1 Pembakaran spontan**

Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya spontaneous combustion tetapi yang paling utama adalah oksidasi batubara (karbon) pada suhu kamar. Oksidasi batubara, seperti halnya semua reaksi oksidasi, adalah reaksi eksotermik yang menghasilkan panas. Mekanisme sebenarnya tentang bagaimana pembakaran spontan dapat terjadi sampai saat ini masih belum dapat dipahami, tetapi para ilmuwan sepakat bahwa interaksi antara batubara dengan oksigen pada suhu rendah pada awalnya adalah dalam bentuk adsorpsi fisika yang dilanjutkan dengan adsorpsi kimia.

Tingkat konsumsi oksigen oleh batubara sangat tinggi selama beberapa hari pertama (terutama beberapa jam pertama) batubara diletakkan di udara terbuka. Tingkat konsumsi oksigen kemudian menurun dan menjadi sangat lambat bila tidak terjadi peningkatan suhu pada batubara dan lingkungannya. Bila panas terakumulasi dan terdapat aliran oksigen yang cukup maka proses oksidasi dapat berjalan lebih cepat dan suhu batubara semakin meningkat. Naiknya suhu menyebabkan proses oksidasi terus berlanjut menghasilkan ikatan karbon dan oksigen yang lebih stabil di permukaan batubara. Setelah suhu batubara mencapai suhu kritis maka terjadilah Spontaneous Combustion.

Mekanisme spontaneous combustion sulit dipahami karena banyak faktor yang bisa menginisiasi meningkatnya suhu batubara dan mempengaruhi peningkatan suhu selanjutnya sampai terjadinya spontaneous combustion. Faktor-faktor yang dapat menginisiasi dan mengembangkan fenomena spontaneous combustion antara lain sebagai berikut:

- a. Kandungan pyrite dalam batubara dapat mempercepat terjadinya peristiwa spontaneous combustion.
- b. Perubahan kadar air, yaitu penyerapan air oleh batubara kering
- c. Degradasi ukuran batubara meningkatkan luas permukaan yang terbuka luas sehingga memudahkan

reaksi oksidasi batubara. Batubara peringkat rendah mudah pecah menjadi ukuran lebih kecil. Ukuran batubara menjadi sangat kecil setelah proses pengeringan sehingga menjadi seperti debu.

- d. Kandungan abu batubara umumnya menghambat terjadinya spontaneous combustion tetapi beberapa komponen abu, seperti kapur, soda dan senyawa besi, mungkin dapat mempercepat reaksi oksidasi sebaliknya alumina dan silika, menghambat reaksi oksidasi.
- e. Laju aliran udara bisa menghambat atau mempercepat reaksi oksidasi batubara. Pada laju alir yang tinggi, panas reaksi oksidasi batubara terbawa udara sehingga permukaan batubara menjadi lebih dingin. Laju alir udara akan mempercepat reaksi oksidasi bila pada tingkat alaju aliran tersebut kebutuhan oksigen bisa tercukupi tetapi panas oksidasi tidak terbawa oleh udara meninggalkan batubara.

#### **II.4.2 Resiko Ledakan Debu Batubara**

Pengeringan batubara menghasilkan produk sampingan berupa partikel halus yang panas yang bisa menyebabkan terjadinya ledakan. Ledakan debu batubara dapat terjadi dalam kondisi sebagai berikut yaitu adanya batubara ukuran halus, oksigen, energi panas dan terbentuknya suspensi dalam suatu ruangan tertutup. Berikut adalah penjelasan faktor-faktor terjadinya ledakan tersebut.

- a. Peringkat Batubara

Kandungan zat terbang, ukuran partikel batubara dan konsentrasi partikel batubara mempengaruhi pada kecenderungan terjadinya ledakan debu batubara.

Batubara peringkat rendah selalu mempunyai titik nyala yang lebih rendah (lebih mudah) dibandingkan anthracite karena batubara peringkat rendah mempunyai jumlah zat terbang yang lebih banyak.

Kondisi ini juga berlaku pada fenomena terjadinya ledakan debu batubara. Semakin tinggi kandungan zat terbang dalam batubara semakin mudah untuk terjadinya ledakan partikel halus. Rasio zat terbang (volatile ratio) yang didefinisikan sebagai rasio kandungan zat terbang dengan total kandungan karbon tertambat dan kandungan zat terbang juga dapat dipakai sebagai parameter kecenderungan terhadap ledakan batubara. Batubara dengan volatile ratio diatas 12% mempunyai kecenderungan untuk terjadinya ledakan batubara.

b. Ukuran partikel batubara

Batubara dengan ukuran partikel lebih kecil membutuhkan energi yang lebih rendah untuk penyalaan (ignition) dibandingkan energi yang dibutuhkan untuk penyalaan batubara dengan ukuran lebih besar. Batubara dengan ukuran lebih besar dari 800 mikron kurang beresiko untuk menimbulkan ledakan debu batubara. Sebaliknya, partikel batubara dengan ukuran lebih kecil dari 800 mikron mempunyai kecenderungan untuk terjadinya ledakan debu batubara dan semakin kecil ukuran batubara semakin besar kecenderungannya untuk terjadinya ledakan debu batubara. Energi untuk penyalaan tersebut semakin kecil lagi bila batubara berukuran kecil tersebut mempunyai kandungan zat terbang yang besar.

c. Konsentrasi batubara

Debu batubara yang terbang di udara dapat terbakar bila ada energi yang cukup untuk menyalakannya. Tetapi kebakaran tersebut tidak akan menjalar (propagation) kemanamana kalau konsentrasi debu batubara tersebut adalah rendah. Pada konsentrasi

debu rendah, ada jarak antar partikel yang cukup jauh sehingga terbakarnya satu partikel tidak menyebabkan terbakarnya partikel lainnya. Sebaliknya pada konsentrasi debu batubara yang tinggi, partikel batubara berada dalam kondisi saling berdekatan sehingga partikel yang terbakar akan mampu menyalakan partikel lainnya. Konsentrasi minimum suspensi debu batubara yang memungkinkan terjadinya ledakan debu batubara dinamakan Minimum Explosive Concentration (MEC). MEC ditentukan oleh sejumlah faktor, seperti kandungan zat terbang dari batubara, ukuran distribusi partikel batubara dan juga keberadaan gas yang mudah terbakar seperti gas metan dalam suspensi batubara. Nilai MEC untuk batubara medium volatile bituminous adalah 40-50 gram per meter kubik. Nilai MEC akan menurun bila jumlah zat terbang naik, ukuran partikel lebih kecil dan konsentrasi gas metan naik.

d. Keberadaan sumber panas (heat)

Partikel debu batubara dapat terbakar bila terdapat energi yang cukup untuk menyalakannya. Sumber energi panas ini dapat berasal dari udara panas di dalam mesin pengering atau percikan api. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk menyalakan debu batubara adalah sekitar 60 mili joules.

Penyalakan gas membutuhkan energi yang lebih sedikit dibanding batubara. Bila debu batubara bercampur gas seperti metan maka metan akan menyala lebih dulu dari batubara. Energi dari pembakaran gas metane ini yang selanjutnya akan menyalakan debu batubara dan menimbulkan ledakan. Debu batubara ter-suspensi umumnya membutuhkan suhu yang relatif tinggi ( $>500^{\circ}\text{C}$ )

untuk proses penyalanyaannya. Tetapi, debu batubara yang sama, ketika berada dalam bentuk lapisan di lantai atau di atas peralatan memerlukan temperatur yang lebih rendah ( $> 170$  oC) untuk terbakar dan membara. Hubungan antara suhu penyalan (ignition temperature) dan jumlah zat terbang yang terdapat dalam ditunjukkan pada

e. Keberadaan Oksigen

Untuk terjadinya kebakaran dan ledakan diperlukan oksigen yang cukup. Berdasarkan data-data percobaan resiko terjadinya kebakaran dan ledakan akan lebih rendah bila kandungan oksigen dalam gas kurang dari 12%.

f. Suspensi

Debu Batubara akan meledak hanya jika debu tersuspensi di udara. Jika debu berada dalam bentuk lapisan diatas lantai atau diatas zat padat lainnya, debu tersebut hanya bisa terbakar dan membara. Walaupun demikian ledakan debu batubara dapat menghasilkan tekanan yang bisa mengangkat partikel batubara dalam lapisan menjadi dalam bentuk suspense yang pada gilirannya akan meningkatkan intensitas ledakan.

g. Confinement (kurungan)

Partikel debu batubara bisa menimbulkan ledakan bila partikel-partikel tersebut terkurung dalam suatu wadah sehingga jarak antar partikel menjadi lebih dekat yang memungkinkan api menjalar dari satu partikel ke partikel lainnya. Ledakan dalam suatu alat dapat menyebabkan rusaknya peralatan tersebut, oleh sebab itu peralatan yang beresiko tinggi menimbulkan

ledakan perlu di lengkapi dengan safety valve yang dapat terbuka pada tekanan yang rendah.

Untuk meminimalkan resiko akan terjadinya ledakan debu batu bara dalam sebuah pabrik pengeringan batubara dapat dilakukan tindakan-tindakan pencegahan sebagai berikut:

- Konsentrasi debu dalam udara (suspense) harus serendah mungkin.
- Kadar air produk atau dalam batubara kering hendaknya tidak terlalu rendah untuk mengurangi jumlah partikel halus.
- Suhu pengeringan sebaiknya tidak terlalu tinggi tetapi cukup untuk menguapkan air dalam batubara.
- Produk pengeringan terlebih dulu diturunkan suhunya sampai suhu aman sebelum dilakukan penimbunan/penyimpanan batubara kering tersebut.

## **II.5. Low Heating Value (LHV) dan High Heating Value (HHV)**

Kadar energi atau nilai suatu pembakaran batubara adalah suatu sifat yang penting Karena menunjukkan karakteristik dari batubara tersebut. Nilai pembakaran menunjukkan jumlah energi kimia yang terdapat dalam suatu massa atau volume bahan bakar. Nilai Kalor (Nilai Pembakaran) atau HV (Heating Value) adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Pada gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H<sub>2</sub>O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H<sub>2</sub>O yang terbentuk sebagai cairan. Berarti ada 2 macam Nilai Pembakaran yaitu Nilai Pembakaran Atas (NPA) atau HHV dan Nilai Pembakaran Bawah (NPB) atau LHV.

1. NPA atau HHV (*highest heating value*) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair )

2. NPB atau LHV (*lowest heating value*) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran wujud gas/uap)

Untuk menghitung nilai *heating value* akhir batubara menggunakan rumus Rumus Dulong & Petit dibawah ini :

$$HHV = 33950 (C) + 144200(H_2 - O_2/8) + 9400 S$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)/kg$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

Dimana :

- C = persentase unsure Carbon.
- H<sub>2</sub> = persentase unsure Hidrogen.
- S = persentase unsure Sulfur.
- O<sub>2</sub> = persentase unsure Oksigen.
- M = Moisture (kebasahan)

## II.6. Prinsip Kerja Generator

Generator Nitrogen merupakan sebuah sistem pembangkit yang mengambil udara dari kompresor kemudian akan menghasilkan gas Nitrogen murni.

**Tabel 2.1 Spesifikasi Generator**

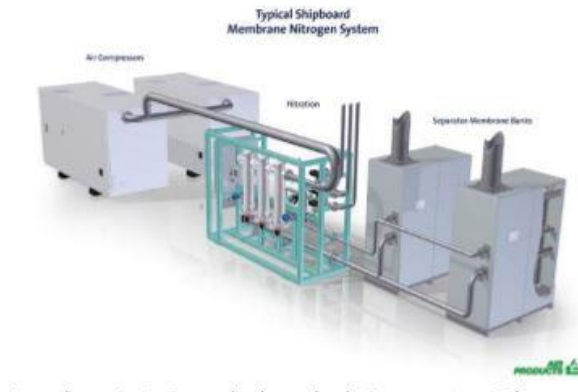
Merk	Air Products' PRISM
Made In	Norway, Amerika Serikat
Standart	DNV-GL Tipe A
Type Nitrogen System	NC 2.0 Shipboard
Power Consumption	7,0 – 7.5 kW



<b>Inlet Pressure</b>	5-13 bar
<b>Outlet Pressure</b>	$\leq 10$ bar
<b>Dimension :</b>	
<b>a. Panjang</b>	3000 mm
<b>b. Lebar</b>	1100 mm
<b>c. Tinggi</b>	2360 mm
<b>Flag Connection</b>	DIN / JIS Standart

Di dalam generator tersebut terdapat membran yang berfungsi untuk menyaring udara sehingga outletnya hanya berupa Gas Nitrogen. Pemisah membran PRISM PA digunakan untuk menghasilkan nitrogen kemurnian tinggi dari udara terkompresi. Ini pemisah kuat dan tahan lama menggunakan teknologi membran serat berongga untuk molekuler nitrogen terpisah dari komponen lain di udara terkompresi. Arus yang dihasilkan nitrogen murni, kering, dan siap untuk digunakan dalam aplikasi industri.

Pemisah membran PRISM mudah digunakan. Hanya menerapkan kompresi udara bersih, dan produksi dimulai. Tidak ada istirahat dalam satu periode, media dengan harga yang murah, atau peralatan yang kompleks mudah untuk dikelola dan dipelihara. Pemisah membran PRISM PA dibangun dari standart ABS atau 6061/6063 aluminium, yang membuat mereka sangat ringan. Separator mudah ditangani oleh satu orang, membuat instalasi dan layanan lapangan lebih sederhana.



Gambar 2.5. Generator Nitrogen

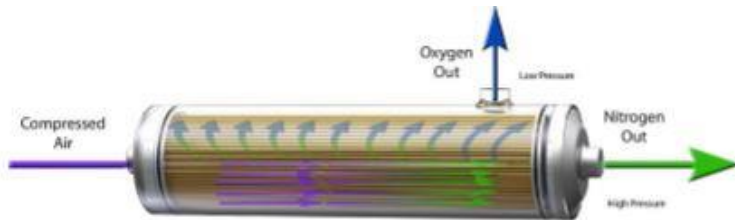
*Sumber : Project Guide Air Products'*

### II.6.1. Cara Kerja Membran Generator Nitrogen

Pemisah membran nitrogen PRISM PA menggunakan teknologi membran serat berongga asimetris untuk memisahkan dan memulihkan nitrogen dari udara terkompresi. Udara atmosfer mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1 % gas-gas lain. Membran PRISM PA menggunakan prinsip perembesan selektif untuk menghasilkan nitrogen kemurnian tinggi. Setiap gas memiliki tingkat permeasi karakteristik, yang merupakan fungsi dari kemampuannya untuk melarutkan dan menyebar melalui membran. Oksigen adalah gas "cepat" dan selektif menyebar melalui dinding membran, sementara nitrogen masuk di sepanjang bagian dalam serat, sehingga menciptakan arus produk kaya nitrogen. Gas yang kaya oksigen, vented dari pemisah membran pada tekanan atmosfer. Kekuatan pendorong untuk pemisahan adalah perbedaan antara tekanan parsial gas pada bagian dalam serat berongga dan di luar.

Dalam pemisah membran PRISM PA, udara terkompresi mengalir turun bagian dalam serat berongga. Gas oksigen, karbon dioksida, dan uap udara dan sejumlah kecil gas lambat, melewati dinding membran ke luar dari serat. Gas tersebut dikumpulkan

pada tekanan atmosfer sebagai permeat. Sebagian besar gas lambat dan jumlah yang sangat kecil dari gas cepat terus perjalanan melalui serat sampai mereka mencapai akhir pemisah membran, dimana gas nitrogen produk disalurkan ke aplikasi.



Gambar 2.6. Aliran Gas di dalam Separator

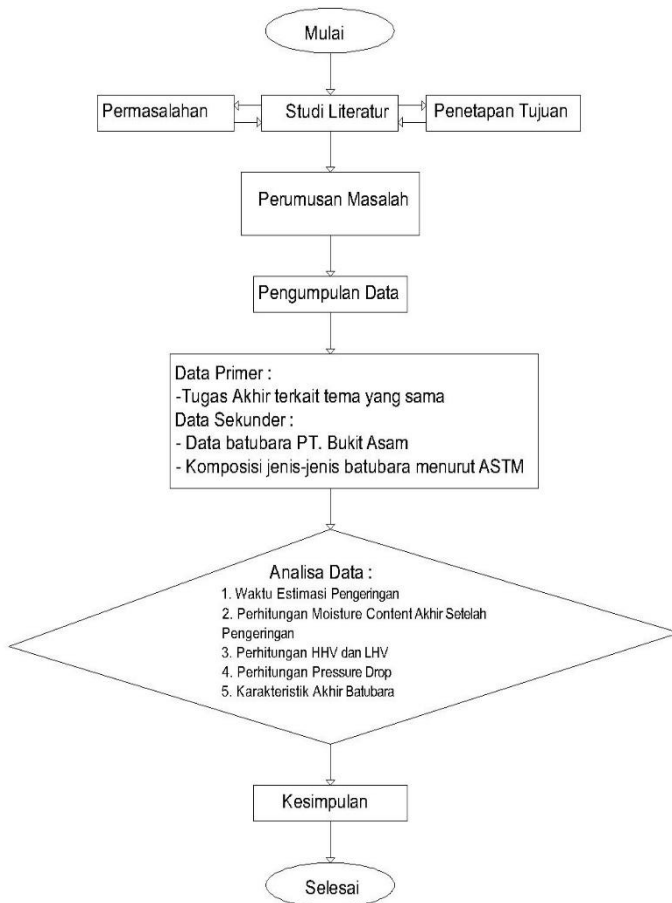
*Sumber : Air Products'*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Flowchart

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metodologi seperti pada flowchart di bawah ini:



### **III.2 Deskripsi *Flowchart***

Dalam pembuatan tugas akhir ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan lebih sistematis dan memudahkan dalam penyelesaiannya. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literature berupa informasi yang mendukung terhadap permasalahan yang ada serta penetapan tujuan .

2. Perumusan Masalah

Setelah didapatkan permasalahan serta penetapan tujuan berdasarkan literature yang ada selanjutnya adalah menuliskan perumusan. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam tugas akhir. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa tugas akhir ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah bagaimana cara untuk meningkatkan nilai kalor batubara dan menjamin keselamatan kapal batubara selama pelayaran.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang digolongkan menjadi 2 yaitu : data primer berupa Tugas Akhir dengan tema terkait beserta datanya dan data sekunder berupa informasi mengenai komposisi berbagai jenis batubara yang berasal dari data PT. Bukit Asam dan menurut ASTM

#### 4. Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa data dari sistem pengeringan batubara yang telah dibuat. Analisa yang dilakukan yaitu perhitungan pressure drop dari sistem distribusi aliran nitrogen pada ruangan palkah terbesar, perhitungan moisture content setelah proses pengeringan, dan perhitungan waktu estimasi dari proses pengeringan metode *constant rate*.

#### 5. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Saransaran diberikan berdasarkan hasil dari analisis yang dapat dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada penelitian ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

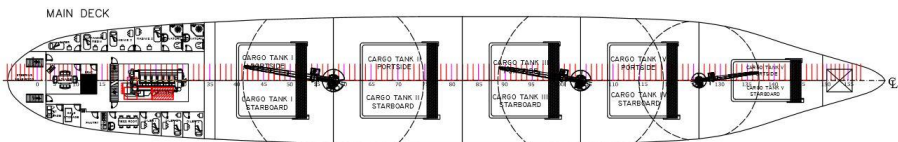
### IV.1. Data Kapal

#### Data MV. KARTIKA JAYA COAL:

Tipe	= Bulk Carrier
Loa	= 114 m
Lpp	= 110 m
B	= 17 m
H	= 9 m
T	= 7 m
Vs	= 12,8 knot
DWT	= 5199 ton
Crew	= 21 orang
Jenis muatan	= Batubara Lignit

#### *Main Engine :*

Model	: WARTSILA
Tipe	: 6L32
Quantity	: 1
Rated Power	: 3000 kW
Rated Rev.	: 750 r/min



Gambar 4.1. Main Deck MV. KARTIKA JAYA COAL

## IV.2. Volume Ruang Palkah Kapal

### Volume Ruang Palkah

- Volume Cargo Tank I = 1561,121 m<sup>3</sup>
- Volume Cargo Tank II = 2110,879 m<sup>3</sup>
- Volume Cargo Tank III = 2106,245 m<sup>3</sup>
- Volume Cargo Tank IV = 1820,847 m<sup>3</sup>
- Volume Cargo Tank V = 1017,521 m<sup>3</sup>

*(Diambil dari perhitungan Desain 3)*

## IV.3. Perhitungan Massa Batubara pada Ruang Palkah

Untuk mengetahui berat batu bara yang dapat diangkut pada ruang palkah, maka rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$m = \rho \times V$$

Dimana :

m = Massa

$\rho$  = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>) untuk batubara sebesar 673 kg/m<sup>3</sup>

V = Volume dari tiap-tiap tangka kago (m<sup>3</sup>)

- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ &= 673 \times 1561,121 \\ &= 525.317,216 \text{ kg} \\ &= 525,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ &= 673 \times 2110,879 \\ &= 710.310,78 \text{ kg} \\ &= 710,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)
 
$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 673 \times 2110,879 \\
 &= 710.310,78 \text{ kg} \\
 &= 710,31 \text{ ton}
 \end{aligned}$$
  
- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)
 
$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 673 \times 2110,879 \\
 &= 710.310,78 \text{ kg} \\
 &= 710,31 \text{ ton}
 \end{aligned}$$
  
- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)
 
$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 673 \times 2110,879 \\
 &= 710.310,78 \text{ kg} \\
 &= 710,31 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### **IV.4. Perhitungan Humidity dan Relative Humidity**

Kelembaban merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Persentase dari Humidity didefinisikan sebagai 100% dari actual Humidity udara dibagi dengan Humidity udara dimana dalam keadaan jenuh pada temperatur yang sama.

#### **Menentukan nilai Humidity dan Relative Humidity di Ruang Palkah dalam temperatur 35°C**

Diketahui :

$$P = 101,3 \text{ kPa}$$

$$P_a = 5,527 \text{ kPa (partial pressure)}$$

$P_{as} = 5,626 \text{ kPa}$  (vapor pressure)

Penyelesaian :

1. Menentukan nilai  $H$

$$H = \frac{18.2}{28.97} \frac{P_a}{P - P_a}$$

$$H = \frac{18.2}{28.97} \frac{5.527}{101.3 - 5.527} = 0.035 \text{ kg} \frac{H_2O}{\text{kg}} \text{ udara}$$

2. Menentukan nilai  $H_s$

$$H_s = \frac{18.2}{28.97} \frac{P_{as}}{P - P_{as}}$$

$$H_s = \frac{18.2}{28.97} \frac{5.626}{101.3 - 5.626} = 0.036 \text{ kg} \frac{H_2O}{\text{kg}} \text{ udara}$$

3. Menentukan Nilai %H

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

$$H_p = 100 \frac{0.008}{0.036} = 9.72$$

$$RH = 100 \frac{P_a}{P_{as}}$$

$$RH = 100 \frac{5.527}{5.626} = 98.2$$

Dari hasil tersebut dapat diartikan bahwa dengan temperatur 35°C, Humidity di dalam ruang palkah bersifat lembab.

### **Menentukan nilai Humidity dan Relative Humidity Gas Nitrogen di Ruang Palkah dalam temperatur 55°C**

Diketahui :

$$P = 101,3 \text{ kPa}$$

$$P_a = 1,3 \text{ kPa (partial pressure)}$$

$$P_{as} = 1,8 \text{ kPa (vapor pressure)}$$

Penyelesaian :

#### 1. Menentukan nilai H

$$H = \frac{18.02}{28.97} \frac{P_a}{P - P_a}$$

$$H = \frac{18.02}{28.97} \frac{1.3}{101.3 - 1.3} = 0.008 \text{ kg} \frac{N_2}{\text{kg}} \text{ udara}$$

#### 2. Menentukan nilai Hs

$$H_s = \frac{18.2}{28.97} \frac{P_{as}}{P - P_{as}}$$

$$H_s = \frac{18.2}{28.97} \frac{1.9}{101.3 - 1.8} = 0.011 \text{ kg} \frac{N_2}{\text{kg}} \text{ udara}$$

#### 3. Menentukan Nilai %H

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

$$Hp = 100 \frac{0.008}{0.011} = 72.7$$

#### 4. Menentukan Nilai %RH

$$RH = 100 \frac{Pa}{Pas}$$

$$RH = 100 \frac{1.3}{1.8} = 72.2$$

Dari hasil tersebut dapat diartikan bahwa dengan temperatur 55°C, Humidity Gas Nitrogen di dalam ruang palkah bersifat cenderung kering.

### IV.5. Perhitungan Nilai Kalor Laten Batubara

Perhitungan Kalor Laten Batubara :

Contoh diambil dengan nilai batubara terbesar yakni di ruang palkah 3

Apabila nilai koefisien kalor jenis air sebesar 4200 j/kg C, maka nilai kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air sebesar 20 C:

$$Q = 45 \% \text{ batubara } \times c \times \Delta T$$

$$Q = 17899831.74 \quad \text{KJ/kg}$$

maka dapat diasumsikan batubara dengan moisture content sebesar 45% maka nilai kalor laten yang didapatkan senilai :

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

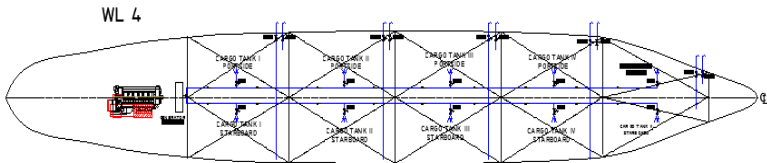
$$17899831.7 = 710310.8 \times$$

$$c = 25.20 \quad \text{kJ/kg}$$

$$c = 25200 \quad \text{J/kg}$$

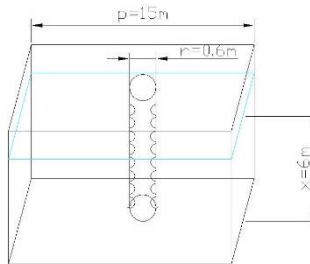
## IV.6. Koefisien Transfer Pengeringan untuk Periode Constant-Rate Drying

(Permodelan 1)



Gambar 4.2 Permodelan 1 Sistem Aliran Gas Nitrogen

- **Ruang Palkah I**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^{\circ}\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^{\circ}\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0,036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $((p.l) - (\pi^2)) + 2\pi.r.x$   
 :  $156.52 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$V_H = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n$$



$$\begin{aligned}
 &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\
 &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned}
 G &= v \times \rho \\
 &= 15 \times 1.072 \times 3600 \\
 &= 57893.73 \text{ kg/h m}^2
 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)

$$\begin{aligned}
 h &= 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\
 h &= 0.024 \times 4212^{0.8} \\
 h &= 130.11 \text{ W/m}^2\text{K}
 \end{aligned}$$

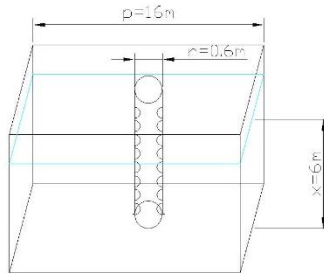
5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned}
 Rc &= \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\
 Rc &= 250.94 \text{ kg/h m}^2
 \end{aligned}$$

6. Total Rc (*The Rate of Drying* )

$$\begin{aligned}
 RcA_{1,1} &= Rc \times A_{1,1} \\
 RcA_{1,1} &= 250.94 \times 156.52 \\
 &= 39277.15 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

- **Ruang Palkah 2**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan (A) :  $((p \cdot l) - (\pi r^2)) + 2\pi r \cdot x$   
 :  $164.52 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55 + 273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering +  $0.008 \text{ kg N}_2$

$$\rho = \frac{1.0 + 0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.028 \times 3600 \end{aligned}$$

$$= 57893.73012 \text{ kg/h m}^2$$

4. Menghitung nilai  $h$  (heat transfer coefficient)

$$h = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)}$$

$$h = 0.024 \times 4212^{0.8}$$

$$h = 131.75 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Menghitung nilai  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600)$$

$$R_c = 250.94 \text{ kg/h m}^2$$

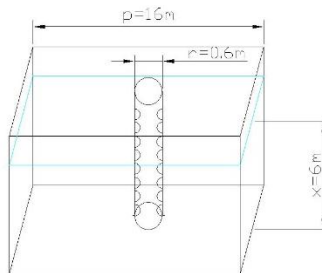
6. Total  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c A_{1.2} = R_c \times A_{1.2}$$

$$R_c A_{1.2} = 250.94 \times 165.52$$

$$= 41284.7 \text{ kg/h}$$

- **Ruang Palkah 3**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan (A)} & : ((p.l) - (\pi^2)) + 2\pi.r.x \\ & : 164.52 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned}V_H & = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ & = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ & = 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}\end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned}G & = v \times \rho \\ & = 15 \times 1.028 \times 3600 \\ & = 57893.73012 \text{ kg/h m}^2\end{aligned}$$

4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)

$$\begin{aligned}h & = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\ h & = 0.024 \times 4212^{0.8} \\ h & = 131.75 \text{ W/m}^2\text{K}\end{aligned}$$

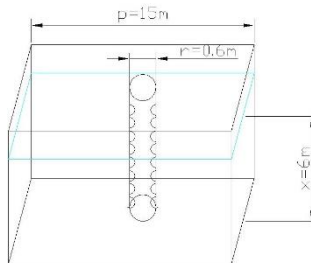
5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned}Rc & = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\ Rc & = 250.94 \text{ kg/h m}^2\end{aligned}$$

6. Total Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned}RcA_{1.3} & = Rc \times A_{1.3} \\ RcA_{1.3} & = 250.94 \times 165.52 \\ & = 41284.7 \text{ kg/}\end{aligned}$$

- **Ruang Palkah 4**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $((p.l) - (\pi r^2)) + 2\pi r.x$   
 :  $156.52 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering +  $0.008 \text{ kg N}_2$

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa ( $G$ )

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.072 \times 3600 \\ &= 57893.73 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai  $h$  (heat transfer coefficient)

$$h = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)}$$

$$h = 0.024 \times 4212^{0.8}$$

$$h = 130.11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Menghitung nilai  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600)$$

$$R_c = 250.94 \text{ kg/h m}^2$$

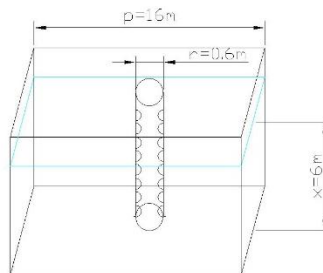
6. Total  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c A_{1.4} = R_c \times A_{1.4}$$

$$R_c A_{1.4} = 250.94 \times 156.5$$

$$= 39277.15 \text{ kg/h}$$

- Ruang Palkah 5**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $((p.l) - (\pi^2)) + 2\pi.r.x$

$$: 164.52 \text{ m}^2$$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.028 \times 3600 \\ &= 57893.73012 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)

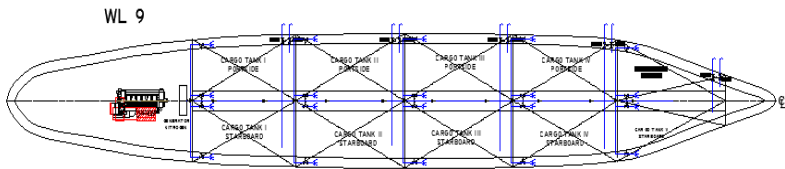
$$\begin{aligned} h &= 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\ h &= 0.024 \times 4212^{0.8} \\ h &= 131.75 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned} Rc &= \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\ Rc &= 250.94 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

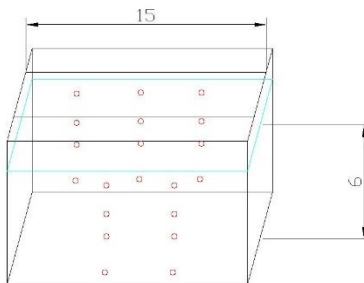
6. Total Rc (*The Rate of Drying* )

$$\begin{aligned} RcA_{1.5} &= Rc \times A_{1.5} \\ RcA_{1.5} &= 250.94 \times 165.52 \\ &= 41284.7 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

**(Permodelan 2)**

Gambar 4.3 Permodelan 2 Sistem Aliran Gas Nitrogen

- **Ruang Palkah I**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^{\circ}\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^{\circ}\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $2 \times (p \times t)$

:  $180 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned}
 V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\
 &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\
 &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}
 \end{aligned}$$



2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.072 \times 3600 \\ &= 57893.73 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)

$$\begin{aligned} h &= 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\ h &= 0.024 \times 4212^{0.8} \\ h &= 130.11 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

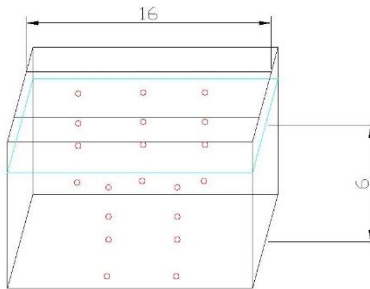
5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned} Rc &= \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\ Rc &= 250.94 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

6. Total Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned} RcA_{2.1} &= Rc \times A_{2.1} \\ RcA_{2.1} &= 250.94 \times 156.52 \\ &= 45169.84 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

- **Ruang Palkah 2**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0.036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $2 \times (p \times t)$

:  $192 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering +  $0.008 \text{ kg N}_2$

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa ( $G$ )

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.072 \times 3600 \end{aligned}$$

$$= 57893.73 \text{ kg/h m}^2$$

4. Menghitung nilai  $h$  (heat transfer coefficient)

$$h = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)}$$

$$h = 0.024 \times 4212^{0.8}$$

$$h = 130.11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Menghitung nilai  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600)$$

$$R_c = 250.94 \text{ kg/h m}^2$$

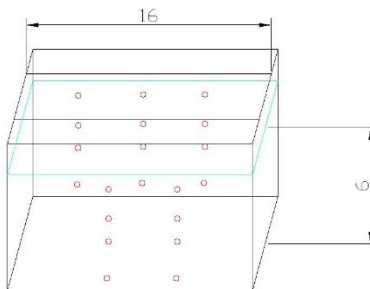
6. Total  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c A_{2.2} = R_c \times A_{2.2}$$

$$R_c A_{2.2} = 250.94 \times 156.52$$

$$= 48181.17 \text{ kg/h}$$

- **Ruang Palkah 3**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0,036 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$

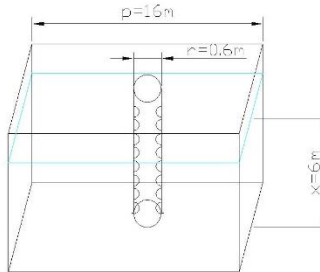
$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan (A)} & : 2 \times (p \times t) \\ & : 192 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban
 
$$\begin{aligned}V_H & = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ & = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ & = 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}\end{aligned}$$
2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$
3. Menghitung kecepatan massa (G)
 
$$\begin{aligned}G & = v \times \rho \\ & = 15 \times 1.072 \times 3600 \\ & = 57893.73 \text{ kg/h m}^2\end{aligned}$$
4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)
 
$$\begin{aligned}h & = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\ h & = 0.024 \times 4212^{0.8} \\ h & = 130.11 \text{ W/m}^2\text{K}\end{aligned}$$
5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)
 
$$\begin{aligned}Rc & = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\ Rc & = 250.94 \text{ kg/h m}^2\end{aligned}$$
6. Total Rc (*The Rate of Drying*)
 
$$\begin{aligned}Rc_{A_{2.3}} & = Rc \times A_{2.3} \\ Rc_{A_{2.3}} & = 250.94 \times 156.52 \\ & = 48181.17 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

• **Ruang Palkah 4**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) :  $0.008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) :  $0,036 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$

Luas permukaan ( $A$ ) :  $2 \times (p \times t)$

:  $180 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering +  $0.008 \text{ kg N}_2$

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa ( $G$ )

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.072 \times 3600 \\ &= 57893.73 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai  $h$  (heat transfer coefficient)

$$h = 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)}$$

$$h = 0.024 \times 4212^{0.8}$$

$$h = 130.11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Menghitung nilai  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c = \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600)$$

$$R_c = 250.94 \text{ kg/h m}^2$$

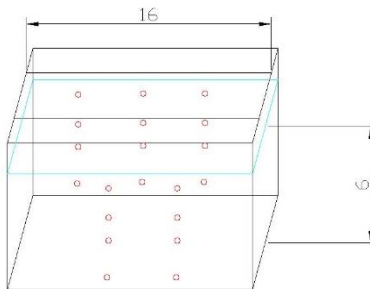
6. Total  $R_c$  (*The Rate of Drying*)

$$R_c A_{2.4} = R_c \times A_{2.4}$$

$$R_c A_{2.4} = 250.94 \times 156.52$$

$$= 45169.84 \text{ kg/h}$$

- Ruang Palkah 5**



Diketahui :

Temperatur Gas Nitrogen ( $T_n$ ) :  $55^\circ\text{C}$

Humidity Gas Nitrogen ( $H_n$ ) : 0.008 kg  $\text{N}_2$ /kg udara kering

Temperatur Ruang Palkah ( $T_u$ ) :  $35^\circ\text{C}$

Humidity Ruang Palkah ( $H_u$ ) : 0,036 kg  $\text{H}_2\text{O}$ /kg udara kering

Luas permukaan ( $A$ ) :  $2 \times (p \times t)$

:  $192 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

1. Menghitung volume kelembaban

$$\begin{aligned} V_H &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times H_n) T_n \\ &= (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} \times 0.008) (55+273 \text{ K}) \\ &= 0.9402 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering} \end{aligned}$$

2. Menghitung density untuk 1 kg gas nitrogen kering + 0.008 kg N<sub>2</sub>

$$\rho = \frac{1.0+0.008}{0.9806} = 1.072 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$\begin{aligned} G &= v \times \rho \\ &= 15 \times 1.072 \times 3600 \\ &= 57893.73 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai h (heat transfer coefficient)

$$\begin{aligned} h &= 0.0204 \times G^{0.8} \text{ (parallel)} \\ h &= 0.024 \times 4212^{0.8} \\ h &= 130.11 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$\begin{aligned} Rc &= \frac{h}{\lambda_w} \times (T_n - T_u) \times (3600) \\ Rc &= 250.94 \text{ kg/h m}^2 \end{aligned}$$

6. Total Rc (*The Rate of Drying* )

$$\begin{aligned} RcA_{2.5} &= Rc \times A_{2.5} \\ RcA_{2.5} &= 250.94 \times 156.52 \\ &= 48181.17 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

#### IV.7. Perhitungan *Moisture Content* Setelah *Drying Process*

Setelah proses pengeringan batubara menggunakan Gas Nitrogen maka akan diketahui hasil akhir nilai *moisture content* dari batubara Sub-Bituminus.

##### Permodelan 1

- ***Moisture Content* pada Ruang Palkah 1**

Massa kering batubara : 525.317,216 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 236393 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{399277.15}{236393} \times 100 = 16.6\%$$

- ***Moisture Content* pada Ruang Palkah 2**

Massa kering batubara : 710311 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 319640 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{41284.7}{319640} \times 100 = 12.28\%$$

- ***Moisture Content* pada Ruang Palkah 3**

Massa kering batubara : 708751 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 318938 kg



$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{41284.7}{318938} \times 100 = 12.94\%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 4**

Massa kering batubara : 612715 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara

: 275722 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{399277.15}{275722} \times 100 = 14.97\%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 5**

Massa kering batubara : 3242396 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara

: 154078 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{41284.7}{154078} \times 100 = 26.795\%$$

## **Permodelan 2**

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 1**

Massa kering batubara : 525.317,216 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara

: 236393 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{45169.8}{236393} \times 100 = 19.8 \%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 2**

Massa kering batubara : 710311 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 319640 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{48181.17}{319640} \times 100 = 15.07\%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 3**

Massa kering batubara : 708751 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 318938 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{48181.17}{318938} \times 100 = 15.11\%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 4**

Massa kering batubara : 612715 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 275722 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{45169.8}{275722} \times 100 = 16.38\%$$

- **Moisture Content pada Ruang Palkah 5**

Massa kering batubara : 3242396 kg

Massa basah batubara : 45% dari massa kering batubara  
: 154078 kg

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$\text{MC setelah pengeringan} = \frac{48181.17}{154078} \times 100 = 31.27\%$$

#### IV.8. Perhitungan Waktu Periode yang Dibutuhkan untuk Proses Pengeringan Batubara

Pada setiap pengeringan dibutuhkan estimasi waktu pengeringan. Berikut ini rumusan estimasi waktu pengeringan selama periode *constant-rate drying* dengan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

Dimana :

t : waktu pengeringan batubara (jam)

$L_s$  : massa batubara kering (kg)

A : luasan ruang palkah kapal ( $\text{m}^2$ )

$R_c$  : *the rate of drying*

$X_1$  : moisture content awal batubara

$X_2$  : moisture content akhir batubara

Didalam perhitungan ini, nilai  $L_s$  diambil dari nilai massa terbesar dari Ruang Palkah yaitu massa batubara yang terdapat di Ruang Palkah II. Oleh Karena itu untuk mengestimasi lama

pengeringan batubara didapatkan perhitungan pada masing-masing permodelan sebagai berikut

***Permodelan 1***

Diketahui :

$$L_s : 710310.8 \text{ kg}$$

$$R_{CA5} : 41284.69 \text{ kg/h}$$

$$X_1 : 45 \%$$

$$X_2 : 12.3 \%$$

Sehingga,

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

$$t = \frac{710310.8}{41284.69} (0.45 - 0.123)$$

$$t = 5.6 \text{ jam}$$

***Permodelan 2***

Diketahui :

$$L_s : 710310.8 \text{ kg}$$

$$R_{CA5} : 48181.17 \text{ kg/h}$$

$$X_1 : 45 \%$$

$$X_2 : 15.07 \%$$

Sehingga,

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

$$t = \frac{710310.8}{48181.17} (0.45 - 0.1507)$$

$$t = 4.4 \text{ jam}$$

Jadi, apabila kedua permodelan tersebut dibandingkan maka waktu pengeringan terlama terjadi pada *permodelan I* sebesar 5.6 jam

#### **IV.9. Perhitungan Nilai Panas (Heating Value) untuk Proses Pengeringan Batubara**

Nilai Panas (Nilai Pembakaran) atau HV (Heating Value) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H<sub>2</sub>O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H<sub>2</sub>O yang terbentuk sebagai cairan.

$$HHV = 33950 (C) + 144200 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S$$

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2) \text{ kJ/kg}$$

Dimana :

- C = Persentase unsur Carbon
- H<sub>2</sub> = Persentase unsur Hidrogen
- S = Persentase unsure Okigen
- M = Persentase Moisture (kelembaban)

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan HHV dan LHV berfungsi untuk mengetahui nilai panas sebelum dan sesudah proses pengeringan. Berikut ini perhitungan LHV dan HHV :  
Diketahui :

- C = 35 %
- H<sub>2</sub> = 7.5 %
- S = 2.5 %
- O<sub>2</sub> = 48 %
- M = 45 %

Sehingga,

$$HHV = 33950 (C) + 144200 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S$$

$$HHV = 33950 (0.35) + 144200 \left( 0.075 - \frac{0.48}{8} \right) + 9400 (0.025)$$

$$HHV = 14280.5 \text{ Kj/kg, apabila } 1 \text{ kJ} = 0.23901 \text{ kCal}$$

maka,

$$HHV = 3413.13 \text{ kCal/kg}$$

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)$$

$$LHV = 14280.5 - 2400(0.45 + 9 (0.075))$$

$$LHV = 1968.5 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 470.483 \text{ kCal/kg}$$

### ***Permodelan 1***

#### **LHV pada Moisture = 12.28 %**

(merupakan kondisi pada batubara dengan nilai moisture content terkecil dengan massa batubara terbesar yang terletak pada Ruang Palkah 2)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)$$

$$LHV = 14280.5 - 2400(0.1228 + 9 (0.075))$$

$$LHV = 2753.78 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 658.17 \text{ kCal/kg}$$

#### **LHV pada Moisture = 26.8 %**

(merupakan kondisi pada batubara dengan nilai moisture content terbesar dengan massa batubara terkecil yang terletak pada Ruang Palkah 5)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)$$

$$LHV = 14280.5 - 2400(0.268 + 9 (0.075))$$

$$LHV = 2405.3 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 574.881 \text{ kCal/kg}$$

### ***Permodelan 2***

#### **LHV pada Moisture = 15.1 %**

(merupakan kondisi pada batubara dengan nilai moisture content terkecil dengan massa batubara terbesar yang terletak pada Ruang Palkah 2)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)$$

$$LHV = 14280.5 - 2400(0.151 + 9 (0.075))$$

$$LHV = 2686.1 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 641.994 \text{ kCal/kg}$$

#### **LHV pada Moisture = 31. 3 %**

(merupakan kondisi pada batubara dengan nilai moisture content terbesar dengan massa batubara terkecil yang terletak pada Ruang Palkah 5)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)$$

$$LHV = 14280.5 - 2400(0.313 + 9 (0.075))$$

$$LHV = 2297.3 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 549.068 \text{ kCal/kg}$$

#### IV.10. Perhitungan Diameter Pipa Sistem Aliran Gas Nitrogen

Diketahui :

$$V \text{ (volume ruang palkah terbesar)} = 256 \text{ m}^3$$

$$v \text{ (kecepatan fluida)} = 15 \text{ m/s}$$

$t$  (waktu )

Maka,

##### ***Permodelan 1***

Kapasitas yang dibutuhkan (Q)

$$Q = \frac{V(volume)}{t}$$

$$Q = \frac{256 \text{ m}}{5.6 \text{ jam}}$$

$$Q = 45.5 \text{ m}^3/h$$

$$Q = 0.013 \text{ m}^3/h$$

##### ***Permodelan 2***

Kapasitas yang dibutuhkan (Q)

$$Q = \frac{V(volume)}{t}$$

$$Q = \frac{256 \text{ m}}{4.4 \text{ jam}}$$

$$Q = 58.025 \text{ m}^3/h$$

$$Q = 0.016 \text{ m}^3/h$$



Sehingga,

Diameter pipa ( $D_s$ )

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times 0.016}{\pi \times 15}}$$

$$D_s = 0.037 \text{ m}$$

$$D_s = 37 \text{ mm}$$

*Pemilihan spesifikasi pipa yang dibutuhkan*

#### **Type**

<i>Diameter Dalam</i>	41.215 mm
<i>Diameter Luar</i>	41.275 mm
<i>Ketebalan</i>	0.060 mm
<i>Material</i>	Copper

### **IV.11. Perhitungan *Pressure Drop* Sistem Distribusi Gas Nitrogen**

#### **Perhitungan *Reynolds Number* ( $R_n$ )**

$$R_n = \frac{D \times v}{\vartheta}$$

$$R_n = \frac{0.037 \text{ m} \times 15 \text{ m/s}}{0.0011 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Rn = 504.515$$

Apabila  $Rn < 2300$  merupakan aliran Laminar. Apabila  $Rn < 2300$  merupakan Aliran Turbulen. Untuk hasil berikut diatas nilai  $Rn = 910$  sehingga aliran fluida yang mengalir berupa aliran Laminar.

### **Perhitungan *Friction Factor* (f)**

Faktor gesekan adalah suatu fungsi dari Bilangan Reynold dan kekasaran relatif (relative roughness) permukaan pipa. Karena nilai  $Rn$  merupakan aliran Laminar sehingga rumus yang digunakan yaitu:

$$f = \frac{64}{Rn}$$

$$f = \frac{64}{504.515}$$

$$f = 0.12685$$

### **Perhitungan *Pressure Drop***

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho$$

Dimana :

$\Delta P$  : penurunan tekanan (Pa)

f : faktor gesekan

L : panjang pipa (m)

D : diameter dalam pipa (m)

V : kecepatan gas nitrogen (m/s)

$\rho$  : massa jenis nitrogen (kg/m<sup>3</sup>)

Diketahui :

$L : 72 \text{ m}$

$D : 0,037 \text{ m}$

$V : 15 \text{ m/s}$

$\rho : 0,078 \text{ kg/m}^3$

Sehingga,

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho$$

$$\Delta P = 0.127 \frac{72}{0.037} \frac{15^2}{2} 0.078$$

$$\Delta P = 2168.611 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0.02168611 \text{ Pa}$$

Jadi, hasil dari pressure drop dari perpipaan sistem distribusi gas nitrogen di ruang palkah kapal yaitu 0,02168611 bar

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data mengenai desain sistem pengeringan batubara menggunakan gas Nitrogen dengan Memodifikasi Ruang Palkah Kapal, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem distribusi Gas Nitrogen pada sistem pengeringan ini dimulai dari Generator Nitrogen yang berfungsi untuk mensuplai Gas Nitrogen yang bersifat kering. Di dalam Generator Nitrogen udara yang masuk kemudian dipisahkan partikelnya, dimana hasil pemisahan dari partikel tersebut berupa gas nitrogen yang kemudian didistribusikan ke masing-masing ruang palkah kapal sebagai media. Gas Nitrogen akan berada di ruang palkah sampai tekanan dalam ruang palkah mencapai 3 bar, karena kondisi ruang palkah yang tertutup dan ditambah dengan adanya gas nitrogen di sekitar ruang palkah akan menyebabkan tekanan dalam ruang palkah meningkat. Oleh karena itu, gas nitrogen akan dikeluarkan melalui vent pipe dari katup yang terpasang pada setiap ruang palkah kapal.
2. Menganalisa 2 bentuk permodelan system pengeringan batubara di ruang palkah palkah tentunya masing-masing memiliki keuntungan dan kerugiannya salah satunya adalah, permodelan 1 memiliki kerugian yakni saat bongkar muat nantinya akan beresiko terhadap letak pipa suplai yg terletak ditengah ruang palkah.
3. Batubara yang digunakan dalam proses pengeringan ini yaitu batubara Lignit. Jumlah kandungan uap air awal batubara yaitu

45%. Dari hasil perhitungan, Moisture Content akhir setelah proses pengeringan pada masing-masing permodelan sebagai berikut:

Permodelan 1

- Moisture Content Ruang Palkah I : 16.6 %
- Moisture Content Ruang Palkah II : 12.3 %
- Moisture Content Ruang Palkah III : 12.9 %
- Moisture Content Ruang Palkah IV : 15 %
- Moisture Content Ruang Palkah V : 26.8 %

Permodelan 2

- Moisture Content Ruang Palkah I : 19.1 %
- Moisture Content Ruang Palkah II : 15.1 %
- Moisture Content Ruang Palkah III : 15.01 %
- Moisture Content Ruang Palkah IV : 16.4 %
- Moisture Content Ruang Palkah V : 31.2 %

4. Dalam sistem pengeringan batubara pada *constant rate drying* dibutuhkan waktu 5.6 jam untuk permodelan 1 dan 4.4 jam untuk permodelan 2 dimana nitrogen dialiran sekali selama waktu yang diperlukan untuk pengeringan tersebut.
5. Dari perhitungan HHV dan LHV, maka nilai yang didapatkan yaitu HHV = 3413.13 kCal/kg sedangkan untuk nilai LHV dari 3 moisture content yang berbeda yaitu MC 45% LHV : 470 kCal/kg, MC 12.28 % LHV : 658.17 kCal/kg, dan MC 31.3% LHV : 549.068 kCal/kg. Oleh karena itu, semakin besar massa batubara maka nilai kalorinya tinggi, namun nilai moisture content akan berkurang. Sebaliknya, semakin kecil massa batubara maka nilai kalorinya lebih rendah, namun nilai moisture content akan lebih besar daripada nilai MC dengan massa batubara yang besar.

6. Berdasarkan Tabel 1.1 maka batubara yang dihasilkan dari proses pengeringan menggunakan gas nitrogen sebagian tidak memicu terjadinya self-ignition. Hal tersebut dikarenakan nilai oksigen dan volatile matter (zat terbang) sebagai indikasi kemampuan batubara untuk self-ignition maupun terjadinya ledakan relatif kecil dibawah nilai 12 %
7. Berdasarkan Lampiran Tabel 2. Menunjukkan bahwa batubara hasil dari proses pengeringan menggunakan gas nitrogen masuk dalam kategori batubara yang dipergunakan dalam PLTU

## V.2 Saran

Tugas Akhir yang telah dikerjakan ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat dilanjutkan dan dikembangkan lagi secara mendalam dengan kajian yang lebih lengkap. Adapun beberapa saran dari penulis sebagai berikut :

1. Diperlukan studi lebih lanjut dan eksperimen untuk mengetahui temperatur pasti dari hasil pengeringan batubara.
2. Diperlukan studi lebih lanjut dan eksperimen untuk mengetahui moisture content pasti ketika kapal singgah dipelabuhan tujuan



## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Desain Sistem Pengeringan Batubara di Ruang Palkah Kapal Menggunakan Gas Nitrogen. JURNAL TEKNIK POMITS.
2. Speight, James G. 2005. Handbook of Coal Analysis. United States of America. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION
3. Air Products Marine Systems. 2009. NC 1.1 Nitrogen Cabinet (Shipboard Nitrogen Membrane Systems). Norway.
4. Rank Coal dengan Menggunakan Metode Pemanasan tanpa Kehadiran Oksigen. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 23373539.
5. Asosiasi Pertambangan Batubara Indonesia. <http://www.apbiicma.org/global-chart/>. November, 2015.
6. ASTM International. 2002. ASTM B-819 – 02 Standard Specification for Seamless Copper Tube for Medical Gas Systems. In ASTM.
7. Geankoplis, Christie John. 1986. Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations). University of Minnesota.
8. Pengembangan Proses Coal Drying And Briquetting (Cdb) 2011. Laporan Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
9. Komariah, W. Erna, 2012. Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro.





LAMPIRAN

Tabel 1. Spesifikasi Pipa



TABLE 6 Interior Surface Residue Limits of Straight Lengths, Type L

NOTE 1—The conversion of square foot to square metre is ft<sup>2</sup> × 0.092 903 = m<sup>2</sup>.

Nominal or Standard Size, in.	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in. (mm)	Internal Area Per Length of Tube, ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> ) <sup>A</sup>		Residue Limit <sup>B/20</sup> ft (6.10 m), Straight Length, g
			1 ft (0.305)	20 ft (6.10 mm <sup>2</sup> )	
¼	0.375	0.030 (0.762)	0.0825 (0.0077)	1.65 (0.153)	0.0039
½	0.500	0.035 (0.889)	0.1126 (0.0105)	2.25 (0.209)	0.0079
⅝	0.625	0.040 (1.016)	0.1427 (0.0133)	2.85 (0.265)	0.0100
¾	0.750	0.042 (1.07)	0.1744 (0.0162)	3.49 (0.324)	0.0122
⅞	0.875	0.045 (1.14)	0.2055 (0.0191)	4.11 (0.382)	0.0144
1	1.125	0.050 (1.27)	0.2683 (0.0249)	5.37 (0.499)	0.0188
1¼	1.375	0.055 (1.40)	0.3312 (0.0308)	6.62 (0.615)	0.0232
1½	1.625	0.060 (1.52)	0.3940 (0.0366)	7.88 (0.732)	0.0276
2	2.125	0.070 (1.78)	0.5197 (0.0423)	10.39 (0.846)	0.0364
2½	2.625	0.080 (2.03)	0.6453 (0.0599)	12.91 (1.199)	0.0453
3	3.125	0.090 (2.27)	0.7811 (0.0707)	15.42 (1.432)	0.0540
3½	3.625	0.100 (2.54)	0.8966 (0.0833)	17.93 (1.666)	0.0628
4	4.125	0.110 (2.80)	1.0220 (0.0949)	20.44 (1.898)	0.0717
5	5.125	0.125 (3.18)	1.2763 (0.1186)	25.53 (2.372)	0.0894
6	6.125	0.140 (3.56)	1.5302 (0.1422)	30.60 (2.843)	0.1071
8	8.125	0.200 (5.08)	2.0224 (0.1879)	40.45 (3.758)	0.1416

<sup>A</sup> Internal area per length of tube ft<sup>2</sup> = (π)(ID)(12)/144 where:  
π = 3.1416, and  
ID = inside diameter of tube.  
<sup>B</sup> Residue limit = (c) (0.0035 g/ft<sup>2</sup> or 0.038 g/m<sup>2</sup>) where:  
<sup>C</sup> is the numerical value for 20 ft of internal area per size, and  
1.0035 g/ft<sup>2</sup> of 0.038 g/m<sup>2</sup> is the standard limit.

Tabel 2. Spesifikasi Batubara Menurut ASTM

TABLE 3.1 Composition and Property Ranges for Various Ranks of Coal

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3–6	2–15	10–25	25–45
Volatile matter (%)	2–12	15–45	28–45	24–32
Fixed carbon (%)	75–85	50–70	30–57	25–30
Ash (%)	4–15	4–15	3–10	3–15
Sulfur (%)	0.5–2.5	0.5–6	0.3–1.5	0.3–2.5
Hydrogen (%)	1.5–3.5	4.5–6	5.5–6.5	6–7.5
Carbon (%)	75–85	65–80	55–70	35–45
Nitrogen (%)	0.5–1	0.5–2.5	0.8–1.5	0.6–1.0
Oxygen (%)	5.5–9	4.5–10	15–30	38–48
Btu/lb	12,000–13,500	12,000–14,500	7500–10,000	6000–7500
Density (g/mL)	1.35–1.70	1.28–1.35	1.35–1.40	1.40–1.45



Tabel 3. Pengujian Komposisi Batubara PT. Bukit Asam untuk PLTU

NO	ID	MINE BRAND	TANGGAL PENGAMBILAN	HASIL PENGUJIAN														TONASE	ERANGA	NO SP ORDER
				TM	IM *	Ash *		VM *		FC		TS *		*) GCW (Cal/gr)						
				% (ar -	% (ad -	% (a -	% (ad -	% (a -	% (ad -	% (a -	% (ad -	% (a -	% (ad -	(ad -	(ar -					
198	STP II.856.05.2016	AL55 LS	22-May-16	22.1	8.7	3.60	3.1	41.9	35.8	45.8	39.1	0.70	0.60	6,566	5,602	3,000	F2.S	355 / PB / S / V / 2016		
199	STP II.860.05.2016	AL55 LS	23-May-16	25.9	12.0	2.70	2.3	42.1	35.5	43.2	36.4	0.83	0.70	6,182	5,206	3,000	F2.S	373 / PB / S / V / 2016		
200	STP II.857.05.2016	AL55 LS	23-May-16	22.5	9.7	4.80	4.1	41.3	35.4	44.2	37.9	0.73	0.63	6,306	5,412	2,000	F2.U	364 / PB / S / V / 2016		
201	STP II.865.05.2016	AL55 LS	24-May-16	19.1	6.2	5.70	4.9	40.9	35.3	47.2	40.7	0.26	0.22	6,661	5,745	2,000	F2.S	381 / PB / S / V / 2016		
202	STP II.874.05.2016	AL55 LS	25-May-16	22.0	8.3	8.20	7.0	41.5	35.3	42.0	35.7	0.79	0.67	6,252	5,318	2,000	F3.S	402 / PB / S / V / 2016		
203	STP II.877.05.2016	AL55 LS	25-May-16	19.8	7.9	5.60	4.9	41.7	36.3	44.8	39.0	2.45	2.13	6,558	5,798	2,000	F2.U	412 / PB / S / V / 2016		
204	STP II.883.05.2016	AL55 LS	26-May-16	24.6	6.7	2.90	2.3	41.4	3.2	79.0	63.8	0.72	0.58	6,892	5,570	3,000	F2.U	423 / PB / S / V / 2016		
205	STP II.886.05.2016	AL55 LS	26-May-16	23.2	8.7	5.70	4.8	41.7	35.1	43.9	36.9	1.32	1.11	6,500	5,468	2,000	F3.S	432 / PB / S / V / 2016		
206	STP II.896.05.2016	AL55 LS	28-May-16	25.2	11.9	3.30	2.8	42.9	36.4	41.9	35.6	0.72	0.61	6,133	5,207	3,000	F2.S	452 / PB / S / V / 2016		
207	STP II.930.06.2016	AL55 LS	1-Jun-16	20.1	10.6	4.20	3.8	41.5	37.1	43.7	39.1	1.19	1.06	6,481	5,732	2,000	F3.S	006 / PB / S / VI / 2016		
208	STP II.936.06.2016	AL55 LS	2-Jun-16	21.2	9.5	5.90	5.1	42.4	36.9	42.2	36.7	0.80	0.70	6,230	5,425	2,000	F3.S	027 / PB / S / VI / 2016		
209	STP II.941.06.2016	AL55 LS	3-Jun-16	22.1	8.3	2.80	2.4	42.9	38.4	46.0	39.1	0.89	0.76	6,613	5,618	3,000	F3.S	047 / PB / S / VI / 2016		
210	STP II.954.06.2016	AL55 LS	4-Jun-16	26.3	7.5	3.40	2.7	42.6	33.9	46.5	37.0	0.41	0.33	6,588	5,249	2,000	F3.S	077 / PB / S / VI / 2016		
211	STP II.956.06.2016	AL55 LS	5-Jun-16	22.8	7.0	6.30	5.2	42.0	34.9	44.7	37.1	0.71	0.59	6,560	5,446	3,000	F3.S	085 / PB / S / VI / 2016		
212	STP II.960.06.2016	AL55 LS	5-Jun-16	26.7	9.0	2.50	2.0	40.1	32.3	48.4	39.0	0.45	0.36	6,508	5,242	3,000	F3.S	095 / PB / S / VI / 2016		
213	STP II.963.06.2016	AL55 LS	6-Jun-16	22.4	8.4	4.10	3.5	42.2	35.8	45.3	38.4	1.45	1.23	6,711	5,685	2,000	F2.S	100 / PB / S / VI / 2016		
214	STP II.965.06.2016	AL55 LS	7-Jun-16	21.6	8.8	3.30	2.8	42.1	36.2	45.8	39.4	1.39	1.19	6,637	5,705	2,000	F2.S	110 / PB / S / VI / 2016		
215	STP II.966.06.2016	AL55 LS	7-Jun-16	18.3	8.8	5.70	5.1	43.6	39.1	41.9	37.5	1.99	1.78	6,396	5,730	2,000	F2.S	111 / PB / S / VI / 2016		
216	STP II.968.06.2016	AL55 LS	7-Jun-16	21.2	8.9	2.00	1.7	41.1	35.6	48.0	41.5	0.82	0.71	6,650	5,752	2,000	F2.S	123 / PB / S / VI / 2016		
217	STP II.976.06.2016	AL55 LS	8-Jun-16	21.6	8.7	3.00	2.6	42.6	36.6	45.7	39.2	0.45	0.39	6,532	5,609	2,000	F3.S	143 / PB / S / VI / 2016		
218	STP II.993.06.2016	AL55 LS	10-Jun-16	21.9	7.9	6.60	5.6	43.8	37.1	41.7	35.4	3.30	2.80	6,503	5,514	2,000	F3.S	192 / PB / S / VI / 2016		
219	STP II.1049.06.2016	AL55 LS	21-Jun-16	22.8	8.3	3.50	2.9	42.6	35.9	45.6	38.4	0.30	0.25	6,656	5,604	3,000	F1.S	421 / PB / S / VI / 2016		
220	STP II.1056.06.2016	AL55 LS	22-Jun-16	25.3	8.3	4.40	3.6	42.7	34.8	44.6	36.3	0.77	0.63	6,581	5,361	3,000	F1.S	441 / PB / S / VI / 2016		
221	STP II.1060.06.2016	AL55 LS	22-Jun-16	22.5	9.1	3.60	8.2	41.4	35.3	39.9	34.0	0.43	0.37	6,292	5,364	3,000	F1.S	454 / PB / S / VI / 2016		
222	STP II.1070.06.2016	AL55 LS	24-Jun-16	19.0	6.6	3.30	2.9	36.7	31.8	53.4	46.3	0.60	0.52	6,717	5,825	2,000	F1.S	477 / PB / S / VI / 2016		
223	STP II.1075.06.2016	AL55 LS	25-Jun-16	20.7	8.6	5.60	4.9	41.7	36.2	44.1	38.3	0.25	0.22	6,572	5,702	2,000	F1.S	497 / PB / S / VI / 2016		
224	STP II.1077.06.2016	AL55 LS	25-Jun-16	18.3	9.2	7.00	6.3	40.1	36.1	43.7	39.3	0.47	0.42	6,311	5,679	2,000	F1.S	509 / PB / S / VI / 2016		
225	STP II.1082.06.2016	AL55 LS	27-Jun-16	25.7	11.0	2.20	1.8	41.1	34.3	45.7	38.2	0.38	0.32	6,294	5,254	2,000	F1.S	541 / PB / S / VI / 2016		
																547,000				
Max				27.30	15.30	9.60	8.48	44.10	39.73	79.00	63.84	3.78	3.18	###	###					
Min				6.70	1.40	0.90	0.82	11.40	9.21	39.30	33.89	0.17	0.15	###	###					
Average				22.40	9.54	3.85	3.31	41.20	35.35	45.40	38.93	0.64	0.55	###	###					



## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan pada tanggal 23 Mei 1995 di Surabaya, Jawa Timur. Penulis merupakan anak ketujuh dari tujuh bersaudara. Penulis merupakan alumni dari SDN Petemon XIII/361 Surabaya, SMP N 03 Surabaya dan SMA N 02 Surabaya.

Penulis melanjutkan studi Strata 1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, terdaftar dengan NRP 42 13 100 035 dan mengambil konsentrasi bidang keahlian Fluid Marine Machinery and System (MMS). Selama perkuliahan penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) sebagai Staff RISTEK dan Badan Eksekutif Fakultas Fakultas Teknologi Kelautan (BEM-FTK) Sebagai Ketua Divisi Departemen Sosial Masyarakat (Sosmas). Selain itu penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT. DOK Perkapalan Surabaya dan PT. Pelindo Marine Service.

Septi Handayani

handayani.septi23@gmail.com